

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren

Roughing the Main Shafts of the Wind Power Stations

Student: František Špalek

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student:

František Špalek

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren
Roughing the Main Shafts of the Wind Power Stations

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Návrh technologie hrubování.
3. Návrh a realizace experimentální činnosti.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
- [4] STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Antonín Trefil

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013

Handwritten signature in blue ink, reading "František Šmolík".

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce: František Špalek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Velké Karlovice 648, 756 06

Touto cestou bych chtěl poděkovat paní Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s. a mému konzultantovi Ing. Antonínu Trefilovi.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠPALEK, František. *Hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren*. Ostrava, 2013. 56 s. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, Vedoucí práce Jana Petřů.

Bakalářská práce popisuje a srovnává technologii hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren ve společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s. V úvodní části této práce je popsána teorie obrábění. Dále je vysvětlena problematika vyměnitelných břitových destiček. Následuje návrh technologie s popisem výrobní soustavy a technologickým postupem. Poté je popsána experimentální činnost. V závěru práce je popsáno technickoeconomické zhodnocení a výpočty. Práce obsahuje přílohy, jako jsou vlastní fotografie, obrázky a tabulka. Dále je v příloze výkresová dokumentace kovárenského výkresu a hrubovacího výkresu hlavního hřídele větrných elektráren.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠPALEK, František. *Roughing the Main Shafts of the Wind Power Stations*. Ostrava, 2013. 56 p. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, Thesis head Jana Petřů.

Bachelor thesis describes and compares the roughing technology of the main shaft wind power plants in the company Vitkovice Heavy Machinery a.s. The introductory part of this thesis describes the machining theory. Further in thesis is explained the issue of indexable inserts. Followed by description of, manufacturing technology, production system, technological process and experimental part of thesis. The final part includes technical and economic evaluation and calculations. The work is supplemented with photos, pictures, tables, forging drawing and rough drawing of the main shaft of wind power plant.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD.....	11
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
1.1 Základní pojmy obrábění	12
1.1.1 Obrábění	12
1.1.2 Rozdělení metod obrábění	12
1.1.3 Obrobek	14
1.1.4 Tříska	14
1.2 Soustružení	17
1.2.1 Řezné podmínky	18
1.2.2 Řezné síly.....	19
1.2.3 Práce a výkon řezání	21
1.2.4 Nástroje pro soustružení	22
1.2.5 Nástrojové materiály	24
1.3 Proces hrubování	26
1.3.1 Hrubovací soustružení nástroji s VBD	26
1.3.2 Materiály VBD pro hrubovací a těžké hrubovací soustružení.....	26
1.3.3 Vliv nepřerušovaného a přerušovaného řezu na volbu materiálu.....	27
1.3.4 Geometrie břitu a utvařeče VBD	28
1.3.5 Použití řezných kapalin při hrubovacím soustružení.....	29
2 NÁVRH TECHNOLOGIE HRUBOVÁNÍ.....	30
2.1 Vítkovice Heavy Machinery a.s.	30
2.1.1 Výrobní zařízení	31
2.2 Návrh technologie	31
2.3 Podélné soustružení.....	36
2.3.1 Všeobecný technologický postup podélného hrubování	37
3 NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍ ČINNOSTI.....	40
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	44
4.1 Technické zhodnocení experimentu	44
4.2 Náklady na hrubování	48
5 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....	50
POUŽITÁ LITERATURA.....	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

A_D	–	jmenovitá plocha průřezu	$[\text{mm}^2]$
A_{Dc}	–	plocha průřezu třísky	$[\text{mm}^2]$
Al_2O_3	–	oxid hlinitý	$[-]$
A_t	–	plocha průřezu jednoho úběru	$[\text{mm}^2]$
a_p	–	hloubka řezu	$[\text{mm}]$
b_D	–	jmenovitá šířka řezu	$[\text{mm}]$
C_{Fc}, C_{Fp}, C_{Ff}	–	konstanty pro výpočet sil	$[-]$
C_{kc}	–	empiricky stanovená konstanta	$[-]$
CNC	–	Computer Numerical Control	$[-]$
ČSN	–	Česká státní norma	$[-]$
d	–	průměr obrobené plochy obrobku	$[\text{mm}]$
d_1	–	vnitřní průměr pro upínací šroub	$[\text{mm}]$
D	–	průměr obráběné plochy obrobku	$[\text{mm}]$
E_c	–	práce řezání	$[\text{J}]$
E_e	–	práce řezného procesu	$[\text{J}]$
E_f	–	práce posuvu	$[\text{J}]$
F	–	výsledná řezná síla	$[\text{N}]$
F_a	–	aktivní síla	$[\text{N}]$
F_c	–	tangenciální složka řezné síly	$[\text{N}]$
F_e	–	pracovní síla	$[\text{N}]$
F_{eN}	–	kolmá pracovní síla	$[\text{N}]$
F_f	–	posuvová složka řezné síly	$[\text{N}]$
F_p	–	pasivní síla řezné síly	$[\text{N}]$
F_z	–	řezná síla	$[\text{N}]$
f	–	posuv na otáčku obrobku	$[\text{mm}]$
f_n	–	posuv na otáčku obrobku	$[\text{mm}]$
HB	–	tvrdost podle Brinella	$[-]$
HRC	–	tvrdost podle Rockwella	$[-]$
h_D	–	jmenovitá tloušťka řezu	$[\text{mm}]$
ISO	–	International Organization for Standardization	$[-]$
i	–	počet odebraných třísek	$[-]$

KM	–	keramické nástrojové materiály	[-]
k_c	–	měrná řezná síla	[MPa]
L	–	délka řezné hrany	[mm]
l	–	délka obrobené plochy	[mm]
l_n	–	délka náběhu	[mm]
l_p	–	délka přeběhu	[mm]
m_O	–	hmotnost odebraného materiálu	[kg]
NC	–	Numeric Control	[-]
n	–	otáčky obrobku	[min ⁻¹]
P_c	–	řezný výkon	[kW]
PD	–	polykrystalický diamant	[-]
P_f	–	posuvový výkon	[kW]
PKNB	–	polykrystalický kubický nitrid boru	[-]
PVD	–	fyzikální metoda povlakování	[-]
Q	–	výkonnost obrábění	[cm ³ ·min ⁻¹]
Ra	–	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
RO	–	rychlořezná ocel	[-]
Rz	–	největší výška profilu	[μm]
r	–	poloměr zaoblení špičky	[mm]
r_ϵ	–	poloměr zaoblení břitu nástroje	[mm]
Si ₃ N ₄	–	nitrid křemičitý	[-]
SK	–	slinutý karbid	[-]
SNOP	–	soustava: stroj-nástroj-obrobek-přípravek	[-]
s	–	tloušťka VBD	[mm]
TiCN	–	nitrid uhlíku titanu	[-]
TiN	–	nitrid titanu	[-]
t_m	–	strojní čas	[hod]
t_p	–	čas řezného procesu	[min]
u_{kc}	–	empiricky stanovená konstanta	[-]
VBD	–	výměnná břitová destička	[-]
VB _{krit.}	–	kritická hodnota opotřebení	[mm]
VHM	–	Vítkovice Heavy Machinery a.s.	[-]
V_m	–	objem odebraného materiálu	[dm ³]

V_O	–	odebraný objem	$[\text{dm}^3]$
V_{ON}	–	objem materiálu odebraný jednou řezné hranou	$[\text{dm}^3]$
V_t	–	objem volně ložených třísek	$[\text{dm}^3]$
v_c	–	řezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_c^{zFc}	–	složka řezné síly	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_e	–	rychlost řezného pohybu	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_f	–	posuvová rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_t	–	rychlost odchodu třísky	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
W	–	objemový součinitel třísek	$[-]$
$x_{Fc}, x_{Fp}, x_{Ff}, y_{Fc}, y_{Fp}, y_{Ff}$ – empiricky stanovené exponenty			
pro dané podmínky řezného procesu			$[-]$
ϵ_r	–	nástrojový úhel špičky	$[\circ]$
Λ	–	součinitel přechování třísky	$[-]$

ÚVOD

Doba, kdy se používal pro obrábění, jako jediný možný řezný nástroj, materiál z rychlořezné oceli s omezeným výběrem tvaru a tedy i použití je dávno pryč, a tak se nám naskýtá mnoho variant, které lze při obrábění využívat. V dnešní době je řada výrobců řezných nástrojů s širokou škálou sortimentu, jež lze v procesu obrábění využívat. To přináší plno výhod, to jak z hlediska ekonomického – šetření nákladů na výrobu, tak i v oblasti technologické – především dlouhá životnost nástroje a kvalita obrobku.

Vhodnou volbou nástroje a technologie můžeme tedy docílit vysokou kvalitu za přijatelné náklady. Díky tomu pak výrobce součástí může vytvořit nabídku, která bude v dnešní době konkurenceschopná a v pohledu zákazníka velmi atraktivní.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodnou technologii hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren třískovým obráběním na soustruhu ve společnosti **Vítkovice Heavy Machinery a.s.** Kromě toho také určit, experimentální metodou mezi třemi navrhovanými výrobci, nejvhodnější výměnnou břitovou destičku pro tuto operaci a navrhnout vhodné řezné parametry.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

1.1 Základní pojmy obrábění

Na samotný začátek je třeba si vymezit pojmy a terminologie, které jsou potřeba k pochopení zpracovávané problematiky. V této podkapitole jsou vysvětleny nejdůležitější z nich.

1.1.1 Obrábění

Technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a kvality a to odebráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických apod., případně jejich kombinacemi se nazývá *obrábění*.

Řezání znamená obrábění, při němž silou vniká nástroj tvaru klínu do materiálu v určité hloubce řezu, při kterém dochází k odebrání částic formou třísky materiálu břitem řezného nástroje. [1]

Obrábění je realizováno pomocí soustavy s těmito základními částmi – stroj, nástroj, obrobek, přípravek (SNOP):

- obráběcí stroj – dodává potřebnou energii a sílu pro obrábění,
- řezný nástroj – odebírá třísku,
- obrobek – vyráběná součást,
- přípravek – pomocné části výroby (upínací součásti, dorazy, podpěry apod.).

Například u soustružení je rozdělení následovné:

- stroj – lože, v němž je umístěn pohon,
- nástroj – soustružnický nůž, či jiný nástroj upnutý v nožové hlavě, nebo případně koníku,
- obrobek – obvykle rotační součást,
- přípravek – upínací sklíčidlo, koník, luneta, nožová hlava apod. [1]

1.1.2 Rozdělení metod obrábění

Metody obrábění lze rozdělit dle různých charakteristik vyznačujících se u jednotlivých metod. Jako rozdílný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku, přítomnost pracovníka při procesu.

Podle charakteru vykonávané práce se metody obrábění dělí na:

- *ruční,*
- *strojní.*

Ruční obrábění se chápe jako práce, kterou vykonává člověk za pomoci ručních nástrojů např. sekání, pilování, zaškrabávání, ruční řezání apod. Mezi tyto operace patří také práce, kterou konají ručně ovládané stroje, jako jsou ruční elektrické vrtačky, brusky, frézky bez pohonu stolů aj. Při této metodě vždy záleží na fyzické síle a zručnosti pracovníka. Díky dnešní vyspělé technice, má ruční obrábění nízkou produktivitu a úroveň. Výrazný podíl ve využívání má však stále v údržbě a opravárenství, výjimečně také u velmi složitých obrobků, kde ani nejmodernější technika nedokáže obrobit plochy, ke kterým není jednoduchý přístup.

Pro případ strojního obrábění je zapotřebí energie, která je přiváděna k obráběcímu stroji. Běžně se přivádí v podobě elektrické energie, kde se transformuje v energii mechanickou, která je dále využívána pro realizaci obráběcího procesu.

Dělení podle charakteristik břitové geometrie:

- *obráběcí nástroje s definovatelnou geometrií břitu* (soustružení, frézování, vrtání, hoblování, aj.),
- *obráběcí nástroje s nedefinovanou geometrií* (broušení, superfinišování, honování, lapování, aj.),
- *nekonvenční technologie obrábění* (laserem, soustředěným vodním paprskem, ultrazvukem, aj.),
- *úpravy obrobených ploch* (např. hlazení, brokování, válečkování).

Podle charakteru záběru řezání:

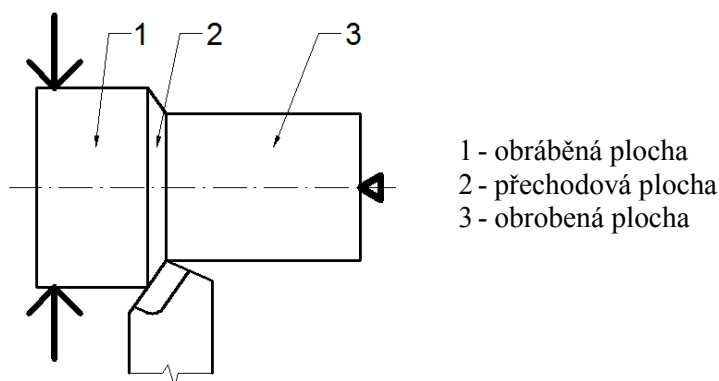
- *plynulé řezání*, při němž je řezný klín po celou dobu obrábění v záběru (například soustružení, vrtání),
- *přerušované řezání*, při kterém střídavě řezný klín vniká a opouští záběr (nejtypičtější jev u frézování).

Podle směru přemísťování částic materiálu vzhledem k řezné hraně:

- *volné obrábění* (směr přemísťování třísky je ve všech bodech řezné hrany stejný) – např. soustružení zapichováním,
- *vázané obrábění* (částice třísky se pohybují různými směry, většinou kolmo na řeznou hranu) – např. podélné soustružení. [1]

1.1.3 Obrobek

Obrobek je součást, která může být z výrobního hlediska ve stavu, kdy se právě obrábí, je již částečně obrobena, nebo úplně obrobena. Z geometrického hlediska pak charakterizujeme plochu jako obráběnou, obrobnou a přechodovou, viz Obr. 1.1.



Obr. 1.1 – Základních plochy obrobku

Obráběná plocha je část obrobku, která má být obrobena řezným nástrojem. Je dána svými rozměry, tvarem, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi v povrchové vrstvě.

Obrobená plocha je nově vytvořená část obrobku po odebrání vrstvy obrobku formou třísky, kterou vytvořila špička řezného nástroje. K jejímž hlavním parametrům patří zejména – úchylka rozměru, tvaru a polohy (rozdíl mezi jmenovitým rozměrem a skutečným, rozdíl v kruhovitosti, přímosti a válcovitosti), struktura povrchu (největší výška profilu R_z a průměrná aritmetická úchylka profilu R_a) a vlastnosti povrchové vrstvy (vady, trhliny a velikost povrchového napětí). Tyto parametry jsou funkčně propojeny se soustavou SNOP. [2]

Přechodová plocha je okamžitá plocha obrobku, která je vytvářena při obrábění působením ostří řezného nástroje během otáčky nebo zdvihu [1].

1.1.4 Tříska

Tříska je částice obrobku rozdílného tvaru, geometrie a vlastností, která byla oddělena procesem řezání.

Materiál odřezávané vrstvy je při vnikání břitu nástroje do obrobku velice namáhán a deformován. Odřezávání třísky probíhá za vysokých tlaků a teplot mezi břitem nástroje, a to především jeho čelní plochou, a hladkou plochou odcházející třísky. Povaha namáhání a velikost deformací odřezávané vrstvy jsou závislé na druhu a vlastnostech obráběného materiálu. [5]

Při řezání jsou způsobeny pomocí břitu nástroje plastické deformace, které probíhají ve třech oblastech (viz Obr. 1.2) [5]:

I. oblast - oblast primárních plastických deformací

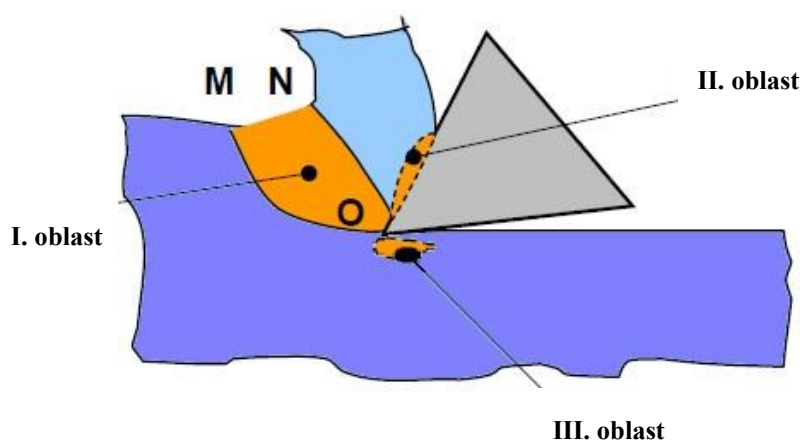
Tato oblast je ohraničena přímkami OMN, a která leží v odřezávané vrstvě. První fáze představuje postupné vnikání břitu nože do obráběného materiálu. Zde vznikají nejdříve pružné deformace, později trvalé deformace částic oddělovaného materiálu. V důsledku vzniklého napětí v oblasti OMN dochází ke kluzovému posuvu daného objemu materiálu, tzn., že se vytváří element třísky. Zde se jedná o první fázi tvorby třísky. Další posuv břitu nástroje docílí toho, že se tento proces opakuje v další vrstvě odřezávaného materiálu a vzniká tak další prvek třísky. K druhé fázi patří vlastní smyk dílků třísky. Do třetí fáze patří druhotný deformační proces, při kterém se částice třísky, které měly původně tvar kosodélníku, tvarově mění a nabývají tvar lichoběžníku. Působením toho se třísky stáčí do spirály.

II. oblast - sekundární plastické deformace

Sekundární plastická deformace se tvoří v nepatrné vrstvě mezi styčnou plochou třísky a čelem nástroje.

III. oblast - plastické deformace

Plastické deformace se vytváří v místě styku roviny hřbetu nástroje a obrobené plochy. Materiál v odřezávané vrstvě obrobku je plastickou deformací zpevněn, zvyšuje se jeho pevnost a tvrdost.



Obr. 1.2 Oblasti plastických deformací [5]

Oddělování částic materiálu formou třísky je velmi složitý. Řezný proces, jenž se provádí v soustavě SNOP, při kterém jsou výchozím výstupem parametry výsledného

obrobku. Z tohoto hlediska je výchozím parametrem pro vznik třísky obráběný materiál a jeho vlastnosti např. mechanické, chemické, tepelná vodivost.

Třísky představují vedlejší produkt řezného procesu, avšak jejich technologické charakteristiky významně vypovídají o průběhu procesu řezání jak z energetického hlediska, tak i z hlediska řízeného odchodu řezné zóny. [2]

Druhy a popis vzniklých třísek jsou znázorněny na obrázku 1.3, kde jsou rozděleny mezi osm základních tvarů.

1. Stružkové třísky	2. Vlnuté třísky	3. Spirálové třísky	4. Úzké-typ šroubovitě třísky	5. Kuželové šroubovitě třísky	6. Obloukové třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlové třísky
dlouhé	dlouhé	ploché	dlouhé	dlouhé	spojené		
krátké	krátké	kuželové	krátké	krátké	volné		
smotané	smotané		smotané	smotané			

Obr. 1.3 Tvary vzniklých třísek [6]

Důsledkem plastické deformace dochází k pěchování třísky při jejím odchodu z místa řezu. Při stanovení součinitele pěchování se vychází z rovnosti objemů odřezávané vrstvy a vzniklé třísky za jednotku času podle vztahu [2; 7]:

$$A_D \cdot v_c \cdot 10^3 = A_{Dc} \cdot v_t \cdot 10^3 \quad (1.1)$$

Kde: A_D – jmenovitá plocha průřezu [mm^2]

A_{Dc} – plocha průřezu třísky [mm^2]

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

v_t – rychlost odchodu třísky [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Součinitel pěchování třísky Λ se potom po úpravě vypočítá ze vztahu [2; 7]:

$$\Lambda = \frac{A_{Dc}}{A_D} = \frac{v_c}{v_t} \geq 1 \quad (1.2)$$

Tříska má mít také určité vlastnosti z hlediska rozměrů a tvarů, a to z důvodu lepší manipulovatelnosti při odvodu ze stroje a další dopravy. A z tohoto důvodu by měly zaujímat co nejmenší objem. Objemový součinitel třísek W lze vypočítat podle vztahu [7]:

$$W = \frac{V_t}{V_m} \quad (1.3)$$

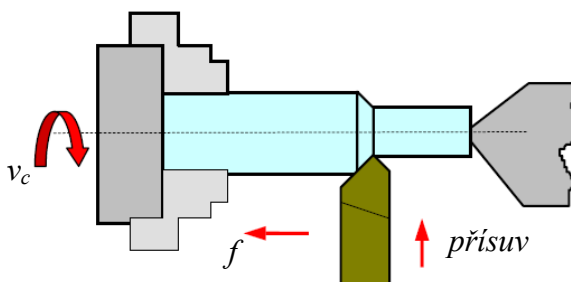
Kde: V_t – objem volně ložených třísek [dm^3]

V_m – objem odebraného materiálu [dm^3]

1.2 Soustružení

Soustružení je nejrozšířenější metoda obrábění, které představuje 30 až 40 % celkové pracnosti strojního obrábění. Soustružením se obrábí vnější a vnitřní válcové i kuželové plochy, tvarové plochy i obecné (soudkovité, podsoustružené zuby fréz atd.). Na soustruzích lze také vrtat, vystružovat, řezat závity, soustružit rovinné i kulovité plochy. Lze na nich taky provádět neobvyklé práce jako je vroubkování, válečkování, okružní frézování závitů atd.

Podstatou soustružení je, že se obrobek otáčí a nástroj se pohybuje přímočaře, viz obrázek 1.4. Hlavní pohyb je vždy rotační a vykonává ho obrobek - v_c . Pracovní pohyb nástroje ve směru osy obrobku je podélným posuvem, kde stopa nože na obrobku je šroubovice - f . Ve směru kolmém na osu obrobku je vykonáván příčný posuv, kde stopa nože na obrobku je Archimédova spirála. Přísuvem je pohyb nástroje, kterým se nastavuje hloubka záběru - *přísuv*. [8]



Obr. 1.4 Pohyby pro soustružení [8]

1.2.1 Řezné podmínky

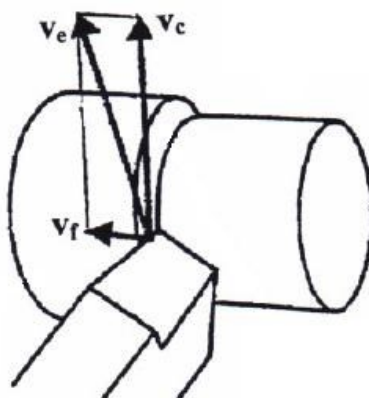
Výraz řezné podmínky je potřeba chápat zejména pro stanovení řezné rychlosti, posuvu f a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu) a_p [1]. Kinematiku řezného procesu charakterizuje hlavní pohyb, směr hlavního pohybu, již zmíněná řezná rychlost (Obr. 1.5), posuvový pohyb, směr posuvového pohybu, posuvová rychlost (Obr. 1.5), řezný pohyb, směr řezného pohybu a rychlost řezného pohybu (Obr. 1.5). Tyto veličiny jsou definovány a měřeny jako veličiny v daném okamžiku. Například pro podélné soustružení válcové plochy se zmíněné rychlosti vypočítají podle vzorců [2]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.4)$$

$$v_f = 10^{-3} \cdot f_n \cdot n \quad (1.5)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.6)$$

Kde:	v_c	–	řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
	v_f	–	posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
	v_e	–	rychlost řezného pohybu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
	D	–	průměr obráběné plochy [mm]
	n	–	otáčky obrobku [min^{-1}]
	f_n	–	posuv na otáčku obrobku [mm]



Obr. 1.5 Vektory řezných rychlostí podélného soustružení [1]

Úběr materiálu je charakterizován jako vrstva materiálu odebraná z obrobku při jednom průchodu řezného nástroje. U soustružení je tento úběr vyjádřen na jednu otáčku obrobku, při vrtání a frézování potom na otáčku nástroje. **Plocha průřezu jednoho úběru**

je skutečná plocha průřezu úběru promítnuta do kolmé roviny ve směru řezné rychlosti. Tato plocha je počítána dle vztahu [2]:

$$A_t = \pi \cdot a_p \cdot (D - a_p) \quad (1.7)$$

Kde: A_t – plocha průřezu jednoho úběru [mm^2]
 a_p – hloubka řezu [mm]

Výkonnost obrábění je vyjádřen pomocí objemu materiálu odebraného za jednotku času v určitém čase, obecně podle vzorce:

$$Q = A_t \cdot v_f \quad (1.8)$$

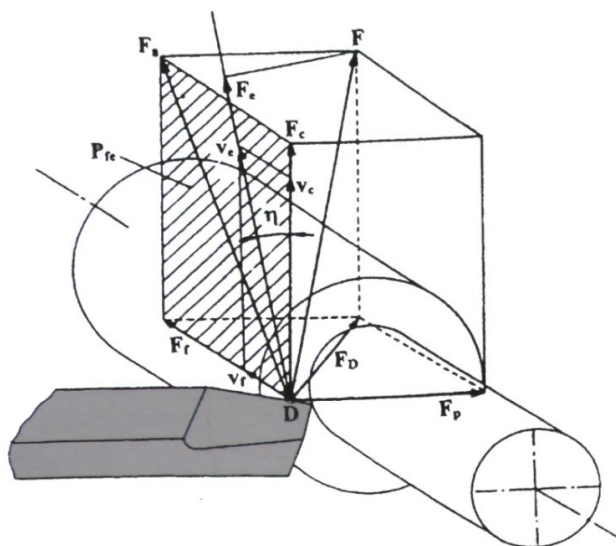
Kde: Q – výkonnost obrábění [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]

A konkrétně pro soustružení válcové plochy:

$$Q = \pi \cdot 10^{-3} \cdot a_p \cdot f_n \cdot n \cdot (D - a_p) \quad (1.9)$$

1.2.2 Řezné síly

Pomocí identifikace silové soustavy se umožní normalizace řezných podmínek s ohledem na průběh obrábění a stabilitu břitu nástroje.



Obr. 1.6 Rozklad celkové řezné síly F při podélném soustružení válcové plochy [2]

Na obrázku 1.6 je zobrazen geometrický rozklad řezné síly do směru řezné rychlosti a směrů k němu kolmých. Celková řezná síla, která je vyvolaná působením řezné části nástroje se značí symbolem F [N]. Vektor této síly je umístěn do jednoho hlavního bodu ostří nástroje D. Analýzou silových poměrů řezného procesu se celková řezná

síla F rozkládá do příslušných geometrických složek v závislosti na záměrech takovéto analýzy. [2]

Aktivní síla F_a [N] je určena průmětem celkové řezné síly F do pracovní boční roviny P_{ef} a vypočítá se dle vztahu [2]:

$$F_a^2 = F_e^2 + F_{eN}^2 \quad (1.10)$$

Kde: F_e – pracovní síla [N]
 F_{eN} – kolmá pracovní síla [N]

Na základě empiricky vyšetřených závislostí je možno předvést výpočet vybraných složek celkové řezné síly, a to dle vzorců 1.11, 1.12 a 1.13. Složka řezné síly v_c^{zFc} je zahrnuta v konstantě C_{Fc} . [2]

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad (1.11)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad (1.12)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad (1.13)$$

Kde: F_c – tangenciální složka řezné síly [N]
 F_p – pasivní síla řezné síly [N]
 F_f – posuvová složka řezné síly [N]
 C_{Fc}, C_{Fp}, C_{Ff} – konstanty pro výpočet sil [-]
 $x_{Fc}, x_{Fp}, x_{Ff}, y_{Fc}, y_{Fp}, y_{Ff}$ – empiricky stanovené exponenty pro dané podmínky řezného procesu [-]

Výsledná řezná síla F [N] je dána vektorovým součtem [2]:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (1.14)$$

Pro známou velikost měrné řezné síly k_c [MPa] je možné vypočítat řeznou sílu F_c [N] na základě vztahu [2]:

$$F_c = k_c \cdot A_D = k_c \cdot h_D \cdot b_D \quad (1.15)$$

Kde: h_D – jmenovitá tloušťka řezu [mm]
 b_D – jmenovitá šířka řezu [mm]

V závislosti na obráběném materiálu, ale i se jmenovitou tloušťkou průřezu třísky se měrná řezná síla k_c [MPa] výrazně mění. Empirická závislost $k_c = f(h_D)$ má tvar [2]:

$$k_c = \frac{C_{kc}}{h_D^{u_{kc}}} \quad (1.16)$$

Kde: C_{kc}, u_{kc} – empiricky stanovené konstanty [-]

V tabulce 1.1 jsou uvedeny střední hodnoty měrné řezné síly pro soustružení různých druhů materiálů při středních průřezích třísek. [2]

Tab. 1.1 Střední hodnoty měrné řezné síly k_c při podélném soustružení [2]

Materiál	k_c [MPa]	Materiál	k_c [MPa]
Nelegovaná ocel 450 MPa	2100	Šedá litina 161 až 180 HB	1480
Nelegovaná ocel 600 MPa	2160	Šedá litina 181 až 200 HB	1580
Nelegovaná ocel 700 MPa	2450	Bronz 200 až 300 MPa	1100
Chromniklová ocel 500 MPa	2500	Bronz 310 až 500 MPa	1400
Chromniklová ocel 700 MPa	2800	Hliníkové slitiny 180 až 250 MPa	850
Šedá litina 140 až 160 HB	1380	Hliníkové slitiny 250 až 350 MPa	1150

1.2.3 Práce a výkon řezání

Práce řezného procesu zahrnuje práci pružných a plastických deformací v oblasti tvoření třísky, práci tření třísky po čele nástroje, práci tření hřbetu nástroje po obrobené ploše a práci disperzní (souvisí s vytvářením nových povrchů).

Vzorec pro práci řezání E_c [J] bude mít pro soustružení tvar:

$$E_c = F_c \cdot v_c \cdot t_p \quad (1.17)$$

Kde: t_p – čas řezného procesu [min]

Práce posuvu E_f [J] je prací, která je potřebná na zajištění posuvového pohybu za účelem odebrání určitého množství materiálu [2]:

$$E_f = \frac{F_f \cdot v_f \cdot t_p}{1000} \quad (1.18)$$

Práce řezného procesu E_e [J] vyjadřující celkovou práci na odebrání určitého množství materiálu se určí jako součet práce řezání a práce posuvu [2]:

$$E_e = E_c + E_f \quad (1.19)$$

Po úpravě pro soustružení bude mít práce řezného procesu vzorec:

$$E_e = (F_c \cdot v_c + F_f \cdot v_f) \cdot t_p \quad (1.20)$$

Řezný výkon P_c [kW] je daný prací řezání v daném čase součinitelem a řezné rychlosti, která působí v hlavním bodě ostří, a to zpravidla za 1 minutu. Vypočítá se dle vzorce [2]:

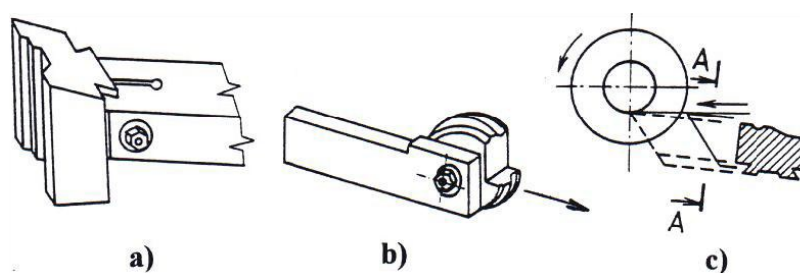
$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (1.21)$$

Výkon, který je potřeba pro posuv P_f [kW] je vyjádřen pomocí posuvové síly a rychlosti posuvu. V poměru k řeznému výkonu je velice malý a ve všech aplikacích se zpravidla vynechává. Tento výkon má výpočtový vzorec [2]:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{6 \cdot 10^7} \quad (1.22)$$

1.2.4 Nástroje pro soustružení

Nástroje pro soustružení se nazývají soustružnické nože. Jsou to jednobřité nástroje jednoduchých tvarů, nemají příliš vysokou cenu a jsou jednoduché z hlediska údržby. Mezi základní prvky soustružnických nástrojů patří tvar řezného klínu, materiál řezné části a průřez tělesa nástroje. Z hlediska technologického se soustružnické nože dělí na radiální (nejpoužívanější), prizmatické, kotoučové a tangenciální, viz Obr. 1.7. [1]



Obr. 1.7 Tvarové soustružnické nože a)prizmatické, b)kotoučové, c)tangenciální [1]

Soustružnické nože se dělí podle [8]:

- *materiálu nože* – z nástrojové rychlořezné oceli, s břitovými destičkami ze slinutých karbidů, s břitovými destičkami ze slinutých korundů a diamantové nože,
- *druhu obráběcího stroje* – soustružnické, revolverové a automatové,
- *charakteru obrábění* – hrubovací a hladící,

- *způsobu obrábění* – ubírací, zapichovací a upichovací, vyvrtávací a tvarové,
- *tvaru tělesa nože* – přímé, ohnuté, prohnuté a osazené,
- *polohy hlavního ostří* – pravé, levé a souměrné,
- *požadavku výroby* – komunální a operační,
- *základního názvosloví (ČSN 22 0110)* – pravé, levé, souměrné a osazené.

Radiální soustružnické noželze dělit podle konstrukce na [1]:

- *celistvé* – těleso i řezná část jsou vyrobeny z nástrojové nebo rychlořezné oceli a tvoří jeden celek,
- *s pájenými břitovými destičkami* – destička z řezného materiálu je připájena tvrdoupájkou na (do lůžka) těleso nože z konstrukční oceli,
- *s vyměnitelnými břitovými destičkami* – břitová destička je mechanicky upnutav nožovém držáku z konstrukční oceli pomocí systémů upínání ISO.



1 - SK, tvar S, oboustranné, předlisovaný utvařec; 2 - SK, tvar W, oboustranná, předlisovaný utvařec; 3 - SK, zapichovací, předlisovaný utvařec; 4 - SK, závitové; 5 - SK, upichovací, předlisovaný utvařec; 6 - monolitní PKNB, tvar R; 7 - roubík PD, tvar C, jednostranná; 8 - roubík PD, tvar T, jednostranná, utvařec; 9 - roubíky PD, tvar S, oboustranná; 10 - monolitní PKNB, tvar S, jednostranná, vybroušený utvařec

Obr. 1.8 Vyměnitelné břitové destičky [1]

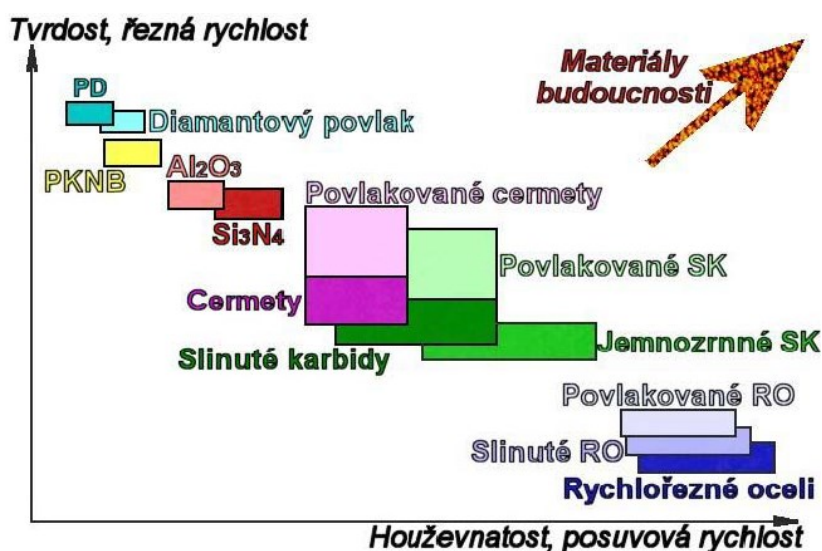
Ukázka vyměnitelných břitových destiček je znázorněna na obrázku 1.8. Mezi materiály VBD, které jsou vhodné pro výrobu radiálních nožů, patří slinutý karbid (SK), řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB) a polykrystalický diamant (PD), viz Obr. 1.8. Každá destička může být vyrobena jako jednostranná destička (jedna čelní plocha) nebo oboustranná destička (2 čelní plochy). Čela destiček jsou hladká, nebo jsou u nich předlisované utvařeče třísky. V současné době se téměř všechny destičky vytváří jako vícebřité. Výhodou u vícebřitých destiček je, že po otupení

jednoho břítu se mohou pootočit do nové polohy pro využití dalšího břítu. Uložení břitových destiček v držáku musí zajistit, aby řezné odpory směřovaly do stěn, aby nezatěžovaly upínací mechanismus. Obvykle není potřeba seřizovat polohu břítu, protože je výměna destiček rychlá a snadná. [1]

1.2.5 Nástrojové materiály

Průběh a výstupy řezného procesu významně závisí na vlastnostech řezné části nástroje, která je zhotovena z příslušného nástrojového materiálu. Mezi základní požadavky nástrojového materiálu patří jeho tvrdost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, pevnost v ohybu a houževnatost. Tyto vlastnosti by měl nástrojový materiál splňovat při vyšších a vysokých teplotách po dostatečně dlouhou dobu.

Na obrázku 1.9 je znázorněna oblast použití jednotlivých materiálů [9].



Obr. 1.9 Oblasti použití řezných materiálů [9]

Obecně se používá pro výrobu řezných částí nástrojů tyto materiály [2]:

- nástrojové oceli uhlíkové,
- nástrojové oceli nízkolegované,
- rychlořezné oceli (RO), vysokolegované (obsahující 0,65 až 1,45% C, 3,8 až 4,8% Cr, 5,5 až 19% W, 0,5 až 5,5% Mo, 1,0 až 4,7% V, 4,2 až 10% Co),
- slinuté karbidy (SK),
- slinuté karbidy s tvrdými povlaky,
- cermety,
- keramické nástrojové materiály (KM),
- polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB),

- polykrystalický diamant (PD),
- přírodní diamant.

U rychlořezných ocelí je potřeba respektovat při volbě nástroje složitost tvaru a obrobitelnost jeho materiálu, druh operace obrábění, možnosti volby řezných parametrů, výkon a tuhost obráběcího stroje, požadované parametry obrobeného povrchu (zejména drsnost povrchu a rozměrovou a tvarovou přesnost), a náklady na obrábění.

Slinuté karbidy se vyrábějí metodou práškové metalurgie spékáním karbidů wolframu (WC), titanu (TiC), Ta, Cr a dalších kovů. Při spékání je jako pojivo karbidů použit kobalt. Tvrdost SK je dána samotnou povahou materiálu, proto se u SK neprovádí tepelné zpracování ke zvýšení tvrdosti. SK snášejí zahřátí břitů až na asi 900°C. [2]

Svou otěruvzdorností předčí SK rychlořeznou ocel, jsou ale křehké, mají sklon k vydrolování břitů a jsou obtížně obrobitelné. Podle ISO 513 se rozdělují karbidy z hlediska řezného procesu do šesti skupin viz Tab. 1.2. [13]

Tab. 1.2 Skupiny materiálů obrobku dle normy ISO 513

Označení	Barva	Skupina materiálů
P	modrá	oceli: všechny druhy oceli a ocelolitiny s výjimkou nerezoceli s aust. strukturou
M	žlutá	nerezavějící oceli: nerezocel aust. a austeniticko/feritická a ocelolitina
K	červená	litina: šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina
N	zelená	neželezné a nekovové materiály: hliník a ostatní neželezné kovy, nekovové materiály
S	oranžová	těžkoobrobitelné materiály: žárovevné a legované oceli a slitiny Ni, Co, Ti
H	bílá	tvrdé materiály: kalená ocel s pevností nad 1500 MPa, tvrzené litiny

Keramické řezné materiály (KM) jsou slinuté kombinované materiály a lze je rozdělit do dvou základních skupin. KM na bázi kysličníku hlinitého nebo nitridu křemičitého. Řezivost keramických nástrojů je dána přímo tvrdostí korundu, popřípadě přimíslených karbidů. Jejich tepelné zpracování se za účelem zvýšení tvrdosti nedělá, KM mají vysokou odolnost proti otěru a snášejí teploty 1200°C i vyšší. Jejich největší výhodou je relativně nízká cena.

Vývoj řezných materiálů je ovlivněn snahou o jeho široké použití a výzkumem nových obráběných materiálů. Požadavky kladou především obráběné materiály s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností. Mezi nejpoužívanějším řezným materiálem zůstanou pravděpodobně i dále povlakované SK s tím, že bude snaha především zdokonalit proces slinování a povlakování. [2]

1.3 Proces hrubování

Proces hrubování patří do základní metody třískového obrábění, jež se obvykle dělí na dvě části – hrubování a dokončování.

Cílem tohoto procesu je odebrat co největší množství materiálu tak, abychom dosáhli nejvíce odpovídajícímu tvaru výsledného obrobku. Při této operaci se nekladou nároky na velkou přesnost a drsnost obrobené plochy. Očekává se, že součást bude nadále obráběna na lepší kvalitu, jež je určena na výkresové dokumentaci. [1]

1.3.1 Hrubovací soustružení nástroji s VBD

Pro těžké hrubovací soustružení jsou vhodné řady nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) SK, které jsou vyráběny z nových povlakovaných materiálů, opatřeny novou geometrií břitu a vylepšenou geometrií utvařeců třísky. Při konkrétně stanovených podmínkách zatížení, lze těmito nástroji dosáhnout vysoký řezný výkon, kterému je nucen odolávat břit nástroje při hrubování ocelí, litiny i dalších materiálů. Podle rozmezí posuvů a hloubek řezu se dělí hrubovací soustružení na:

- běžné hrubovací soustružení, které je prováděné obvykle na běžných NC soustruzích a centrech (v sériové i kusové výrobě) při posuvech $f = 0,4$ až $0,8$ mm a hloubkách řezu $a_p = 4$ až 8 mm,
- těžké hrubovací soustružení, které se používá většinou v malosériové a kusové výrobě na těžkých soustruzích a karuselech při posuvech $f = 0,8$ až $1,3$ mm, případně až $1,8$ mm i více, a při hloubkách řezu $a_p = 8$ až 15 mm či větších.

1.3.2 Materiály VBD pro hrubovací a těžké hrubovací soustružení

Pro hrubovací soustružení se používají VBD z materiálů nových řad 6000 až řady 9000 určeným pro nejtěžší mechanické namáhání břitu při velmi silně přerušovaném řezu a v extrémních záběrových podmínkách. Tyto materiály představují zcela nové koncepční řešení v použití substrátu (těla VBD) i povlaku (vrchní vrstvy VBD). [10]

Při operacích hrubování a těžkého hrubování vznikají velmi specifické podmínky na břit VBD. Výměnné břitové destičky odebírají velké množství materiálu s ohledem na velké průřezy třísek – při hrubovacím soustružení v průměru $Q = 300$ až $600 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a při těžkém hrubování $Q = 800$ až $1500 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Při obrábění tak dochází, při vzniku třísky v oblasti primární plastické deformace, k přetváření velkého objemu obráběného materiálu, a tudíž je břit vystaven nepříznivému velkému působení tepla. Současně

vznikají velké řezné síly, které působí v oblasti ostří. Při hrubovacím soustružení je to $F_z = 5\,000$ až $10\,000$ N a při těžkém hrubování $F_z = 10\,000$ až $30\,000$ N. Za těchto podmínek pak roste vznik plastické deformace břítu, která může vést k jeho celkové destrukci – popuštění břítu, který pak již nemá potřebnou tvrdost. Dalším nebezpečným aspektem při hrubování je přerušovaný řez, který vyvolává s kombinací velkých řezných sil vznik vysokých teplot a dalších nepříznivých vlivů. Způsobuje také cyklické zatížení, jež je charakteristické pro obrábění kovaných, nebo odlévaných součástí. V důsledku výskytu vměstků v povrchové kůře zde navíc hrozí další poškození břítu nástroje, kdy je hřbet extrémně namáhán na vznik hlubokých rýh, a čelo na vydrolování. [10]

1.3.3 Vliv nepřerušovaného a přerušovaného řezu na volbu materiálu

Rozhodujícím parametrem pro volbu nejvhodnějšího materiálu VBD je charakter řezu, neboli zda jde o nepřerušovaný nebo přerušovaný řez.

Při nepřerušovaném řezu má břit odolávat vlivu vysoké řezné síly a velké řezné teploty, aby se omezilo nebezpečí rychlého nárůstu otěru a především riziko vzniku plastické deformace s možným úplným plastickým porušením břítu, tzv. "upálením". V tomto případě je nutné volit materiál s vysokou mezí tepelné odolnosti, obvykle se volí materiál s menším obsahem kobaltu. Takový materiál má však nižší pevnost, tzn., že je náchylný vůči křehkému narušení celé VBD vlivem vysokých řezných sil. Tento problém se řeší u VBD pro těžké hrubování větší tloušťkou destičky, celkovými rozměry a tvarem stabilizačních fazetek na čele, velkými poloměry zaoblení špičky r a volbou tvaru destičky s největším úhlem špičky ε_r . Vyhovující požadavky splňují destičky základního tvaru S s úhlem špičky $\varepsilon_r = 90^\circ$ nebo tvaru C s úhlem špičky $\varepsilon_r = 80^\circ$. Výměnná břitová destička tvaru CNMM (tvar dle ISO 1832), která díky použití tzv. tupého rohu s nastavením úhlem špičky $\varepsilon_r = 100^\circ$, přináší zvyšující pevnost břítu umožňující použití všech čtyř břitů VBD.

Zpravidla při přerušovaném řezu je často tepelné zatížení břítu nižší. Může za to ochlazení ve fázi, kdy "břit řeže vzduch". I když je v tomto případě menší riziko vzniku plastické deformace, vzniká v důsledku přerušovaného cyklického namáhání břítu mechanickými a teplotními rázy nebezpečí křehkého porušení břítu. V tomto případě bude vhodnější použít materiál, který má vzhledem k vyššímu obsahu Co větší odolnost vůči mechanickému porušení břítu. Pro velmi těžké přerušované řezy s extrémními podmínkami záběru a pro narůstající mechanické namáhání břítu je vhodné použít

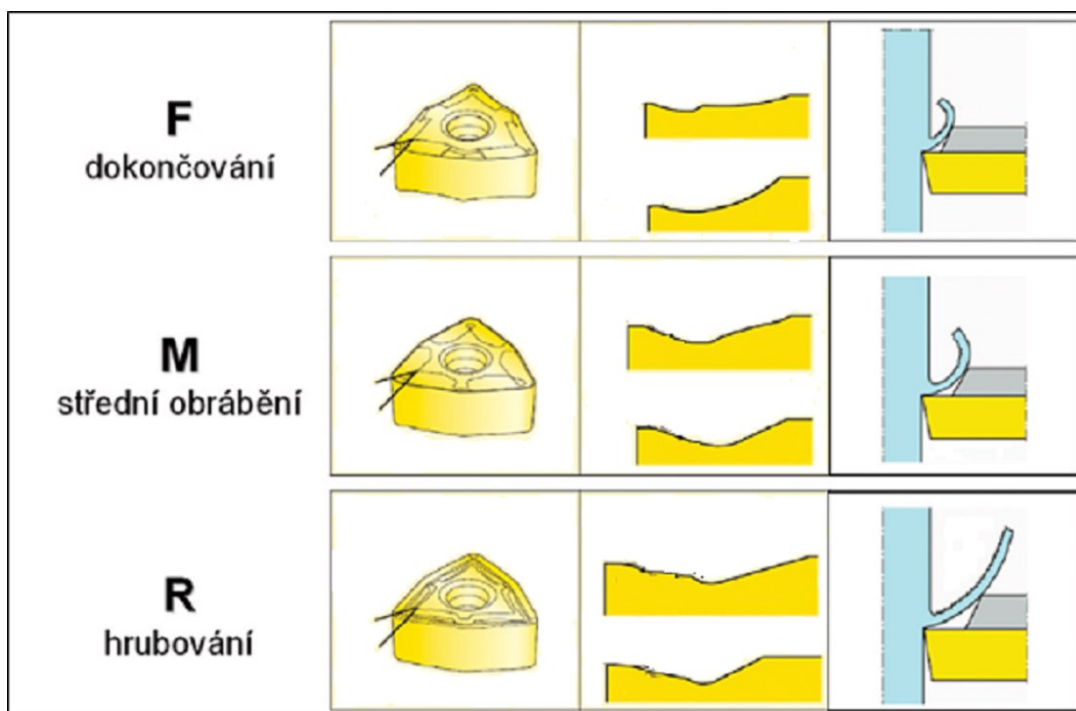
materiál s vícevrstevným nanokrystalickým kompozitním povlakem PVD naneseným na substrátu s maximálním obsahem Co .

U volby nejvhodnějšího materiálu VBD pro hrubovací a těžké hrubovací soustružení je nutné upozornit na to, že při rostoucí velikosti posuvu není nezbytné volit houževnatější VBD, ve kterém je více kobaltu v substrátu.

1.3.4 Geometrie bříty a utvařeče VBD

Pro hrubovací a těžké hrubovací soustružení jsou vhodné VBD s různými typy utvařečů třísky, které se používají pro různé hranice posuvů a hloubek řezu. Základní skupiny lámající geometrie třísek, kde F geometrie – „silně“ lámající geometrie, R geometrie – „měkce“ lámající a M geometrie – „středně“ lámající geometrie, znázorněno na Obr. 1.10. Každý výrobce má různé typy utvařečů a jejich značení, které specifikují jejich geometrii a řezné parametry. Na VBD se pak utvařeči aplikují různé kombinace variant základních materiálů a poloměrů zaoblení špičky.

Např. utvařeč SR používaný u společnosti Pramet Tools, s.r.o. je určen pro nejtěžší hrubování. Je aplikovaný pouze na jednostranných VBD velkých tlouštěk s o velikosti až $s = 12$ mm. Široká stabilizační fazetka s negativním úhlem čela svým tvarem výrazně zpevňuje část bříty. Tato řezná geometrie je vhodná pro těžké hrubování ocelí, ocelolitiny i litiny v rozmezí posuvů $f = 0,8$ až $1,6$ mm. [10]



Obr. 1.10 Základní principy funkce utvařeče třísek [14]

1.3.5 Použití řezných kapalin při hrubovacím soustružení

Nástroje s VBD dokážou při hrubovacím soustružení i těžkém hrubování za doporučených řezných podmínek dosáhnout vysoký výkon i bez použití řezné kapaliny. Použitím řezné kapaliny s podstatným chladicím účinkem může tento výkon výrazně zvýšit. Aby řezná kapalina měla účinek, musí být přiváděna k břitu plynule a v dostatečně velkém množství, které je závislé na průřezu třísky tak, aby v místě řezu bylo co nejvíce kapaliny a došlo tak k odvodu tepla a k odvodu třísky. Snížením teploty břitu se docílí menšího rizika plastické deformace a intenzitě vymílání čela. Potom se prodlouží trvanlivost břitu, nebo lze nastavit vyšší řezné parametry. Pro vydatné chlazení břitu je výhodnější hrubování na NC soustruzích, které bývají vybaveny zařízením pro přívod dostatečného množství řezné kapaliny přímo do místa řezu a mají dostatečně řešené zakrytování, z důvodu ochrany okolí a správnému odvodu kapaliny. Na rozdíl od kompaktních NC strojích, při těžkém hrubování na velkých konvenčních soustruzích a karuselech, nelze dosáhnout tak příznivých podmínek použití řezné kapaliny a je zapotřebí v těchto případech přistupovat individuálně. Proto se v praxi uplatňuje zásada „Nežli chladit nedostatečně, tak lépe nechladit vůbec“. [10]

2 NÁVRH TECHNOLOGIE HRUBOVÁNÍ

V bakalářské práci bude řešena technologie výroby hlavních hřídelů větrné elektrárny viz příloha B (číslo výkresu NS 370 – HS – S1). Polotovár je výkovek viz příloha A (číslo výkresu NS 340 – KHL – T1) z ingotu a materiálu ČSN EN 10083-3: 2007 (EN 42CrMo4+QT).

2.1 *Vítkovice Heavy Machinery a.s.*

Vítkovice Heavy Machinery a.s. (VHM) je společností patřící do koncernu VÍTKOVICE a.s. VHM je významnou strojírenskou společností s vlastní výrobou oceli, která se zaměřuje na dodávky zejména v oblasti těžkých ocelových odlitků, opracovaných výkovek, zalomených hřídelí a dílů lodí, zařízení oceláren a válcoven, tvářecích zařízení a válcovaných obručí pro železniční průmysl. Své úsilí směřujeme na zvyšování podílu výroby a dodávek strojírenských produktů s vysokou přidanou hodnotou. Podstatný podíl na výrobě tvoří hlavní hřídele větrných elektráren, o které je díky jejich kvalitě velký zájem v oblasti Dánska a Velké Británie.

Patří díky svému strojnímu parku mezi největší firmy v České republice schopné vyrábět strojní součásti velkých rozměrů a vysokých hmotností. S výrobními kapacitami 600 000 h/rok odvětví pracoviště **NS 370 Těžká mechanika** disponuje cca 100 obráběcích strojů. [3]

Používané technologie obrábění :

- soustružení,
- broušení (nakulato, rovinné, otvorů),
- vrtání hlubokých otvorů (do délky 25 000 mm),
- obrážení,
- okružování mimo rotační plochy,
- svařování,
- dělení materiálů,
- tryskání a povrchové úpravy,
- montáž.

2.1.1 Výrobní zařízení

Soustružení (manuální i CNC)

- 11 soustruhů s maximálním průměrem obrábění 2 600 – 3 650 mm, točnou délkou 12 000 – 30 000 mm, váhou obrobku 140 000 – 300 000 kg,
- 24 soustruhů s maximálním průměrem obrábění 710 – 2 000 mm, točnou délkou 4 000 – 25 000 mm, váhou obrobku 5 000 – 12 000 kg,
- 2 soustruhy s maximálním průměrem obrábění 100 – 530 mm, točnou délkou do 5 000 mm, váhou obrobku do 6 000 kg.

Karuselové soustruhy

- 2 soustruhy s průměrem obrábění do 18 000 mm, točnou výškou do 4 000 mm, váhou obrobku do 250 000 kg,
- 10 soustruhů s průměrem obrábění 1 700 – 6 300 mm, točnou výškou 1 200 – 4 000 mm, váhou obrobku 5 000 – 120 000 kg (2 stroje jsou CNC).

Výrobní zařízení – CNC soustruhy

- 15 soustruhů s průměrem obrábění 1 250 – 4 200 mm, točnou délkou do 18 000 mm, váhou obrobku do 150 000 kg. [3]

2.2 Návrh technologie

Byla stanovena výrobní soustava SNOP, pomocí které se bude zadaná součást vyrábět, a sled operací technologického postupu.

1) POUŽITÝ STROJ

Stroj **ŠKODA PLZEŇ S2500**, na kterém se realizuje hrubování hřídelů č. výkresu *NS 370 – HS – SI*, viz Obr. 2.1 s upnutým obrobkem obdobné hřídele a tabulka Tab. 2.1 s technickými parametry stroje. Stroj se nachází v oddělení *340 Těžká mechanika – Obrobna* v hale č. 3 s číselným označením 5364. Svou velikostí a to hlavně maximální možnou délkou obrobku je vhodný pro náročné obrábění dlouhých obrobků, které při použití podpory v lunetách a pinoly koníku dosahuje vysoké produktivity.

Tab. 2.1 Technické parametry stroje

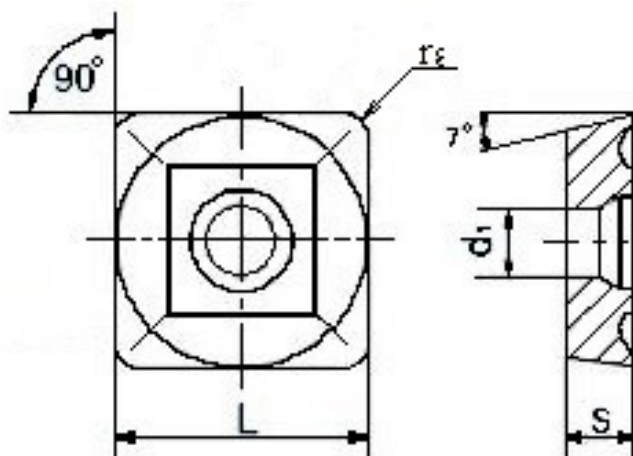
Typ	ŠKODA PLZEŇ S2500
Točný průměr nad ložem	2 000 mm
Šířka lože	3 000 mm
Max. délka obrobku	cca 20 000 mm
Otáčky	5 až 80 min ⁻¹
Max. hmotnost obrobku	60 t
Výkon	100 kW
Výkon motoru hl. vřetene	80 kW
Zdvihová síla v X a Z ose	100 kN
Počet mechanických převodových poměrů	4
Posuv	10 až 2 000 mm·min ⁻¹
Řídící systém	SINUMERIK 840D



Obr. 2.1 Soustruh ŠKODA PLZEŇ S 2500

2) POUŽITÝ NÁSTROJ:

Pro obrábění byla vybrána **čtvercová výměnná břitová destička řady SCMT** (tvar dle ISO 1832) pro podélné soustružení hrubováním. VBD se základními parametry a to délkou řezné hrany $L = 38,1$ mm, tloušťky $s = 9,5$ mm, vnitřního průměru pro upínací šroub $d_I = 8,7$ mm a velikosti rádiusu špičky $r_\epsilon = 3,2$ mm. Základní tvar viz Obr. 2.2. Parametry všech uvedených VBD jsou uvedeny v tabulce 2.2.



Obr. 2.2 Základní tvar VBD SCMT

Proto, aby obrábění bylo produktivní a ekonomické, byly dodány tři VBD od různých výrobců, které se na obráběcím stroji testovaly.

I. TaeguTec - SCMT 38 0932 HD – TT 8125

Na obrázku 2.3 je ukázka nástroje od společnosti TaeguTec s.r.o. Označení HD charakterizuje lamač třísek a TT 8125 povlak.



Obr. 2.3 VBD TT SCMT 38 0932 HD – TT 8125

II. PRAMET SCMT 38 0932 E – OR - 9235

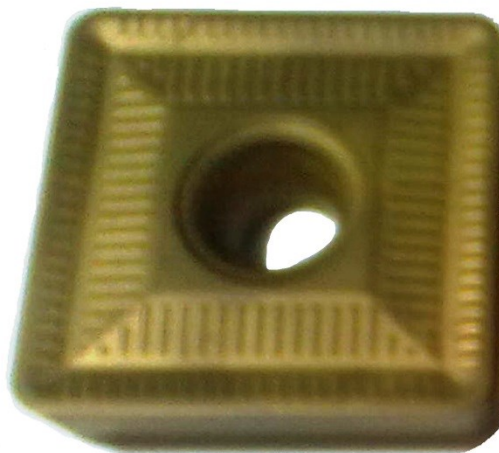
Výrobce PRAMET Tools s.r.o. je českým zástupcem na trhu s obráběcími nástroji. Použitá VBD SCMT 38 0932 řady E s utvařečem třísky OR a materiálem povlaku 9235 nanášeným metodou MT CVD je zobrazena na obrázku 2.4.



Obr. 2.4 VBD PRAMET SCMT 38 0932 E – OR – 9235

III. SECO SCMT 38 0932 – RR 97 – TP 200

VBD od společnosti SECO Tools s.r.o. s utvařečem RR 97 a materiálem povlaku TP 200 určeným pro zvláště těžké hrubovací obrábění. Ukázka zcela nové VBD je zobrazena na obrázku 2.5.



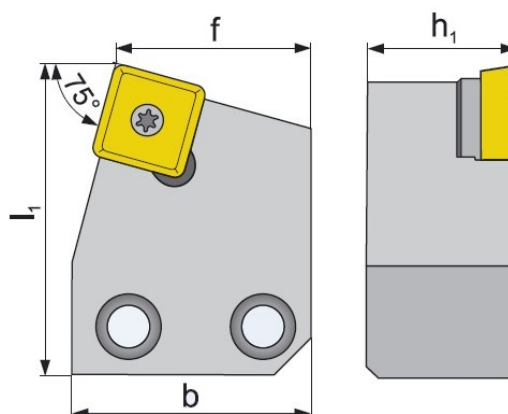
Obr. 2.5 VBD SECO SCMT 38 0932 – RR 97 – TP 200

Doporučené parametry obrábění od všech uvedených VBD jsou v tabulce 2.2.

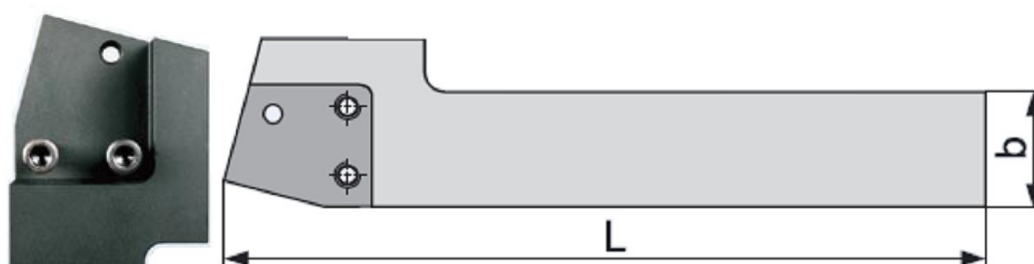
Tab. 2.2 Parametry testovaných VBD a jejich cena

VBD/PARAMETRY	v_c [m·min ⁻¹]	f_{nmin} [mm]	f_{nmax} [mm]	a_{pmin} [mm]	a_{pmax} [mm]	<i>cena bez DPH</i>
TeaguTec	80	0,4	1,5	5	23	1950 Kč
SECO	60	0,96	2,02	7	28	2220 Kč
PRAMET	51	1,2	2,0	4	24	1704 Kč

Všechny VBD byly upnuty pomocí integrovaného upínacího systému **ISO S** do kazety **KS 139**, viz obrázek 2.6. Kazeta společně s VBD je uložena v nástrojovém držáku **DKR 60 60 V**, viz obrázek 2.7. Označení kazety je přiřazeno k určitému druhu nástrojového držáku. Její rozměry jsou: $f = 53 \text{ mm}$, $l_1 = 83 \text{ mm}$, $b = 64,5 \text{ mm}$, $h_1 = 40 \text{ mm}$. Jako podložka pod řeznou VBD slouží destička z SK **SS38**. Z označení nástrojového držáku vyplývá *DK* – držák, *R* – směr soustružení, číselné hodnoty – výška a šířka držáku a *V* udává hodnotu celkové délky (pro $V L = 400 \text{ mm}$).



Obr. 2.6 Kazeta KS 139 [17]



Obr. 2.7 Držák DKR 60 60 V [17]

3) Obráběný materiál

Označení: ČSN EN 10083-3: 2007, číselné označení 1.7225, podle ISO 683-1:1987 – 42CrMo4, dle ČSN 15 142. V tabulce 2.3 je dále popsáno chemické složení oceli.

Tab. 2.3 Označení oceli a chemického složení oceli [11]

Označení oceli		Chemické složení (hmotnostní [%])							
Značka	Číselné označení	C	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Mo	V
42CrMo4	1.7225	0,38 až 0,45	0,4	0,6 až 0,9	0,025	max. 0,035	0,9 až 1,2	0,15 až 0,3	-

Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Maximální tvrdost po tepelném zpracování (žhánáno naměkko)

je max. $HB \leq 241$. Pro konkrétní určení tvrdosti a mechanických vlastností slouží na obrobku koncová část, která je označena křížovými šrafy. Tato ocel není náchylná k popouštění křehkosti. Kalení probíhá v méně razantním kalicím prostředí, poněvadž je náchylné ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používané oceli k zušlechťování. Obrábí se ve stavu žíhaném naměkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechtěném. Zlepšenou obrobiteľnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem *S*. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žíhaném a dokončí po zušlechtění. [12]

Výkresy polotovaru a obrobku jsou uvedeny v příloze A a B. Na obrázku 2.8 a přílohách C, D a E jsou vyobrazeny fáze výroby hlavní hřídele větrné elektrárny.



Obr. 2.8 Výkovek

4) Procesní médium

Kvůli nemožnosti přívodu dostatečného procesního média – řezné chladicí kapaliny do místa řezu, se od chlazení upustilo, jak bylo uvedeno v kapitole 1.3.5 „Nežli chladit nedostatečně, tak lépe nechladit vůbec“.

2.3 Podélné soustružení

Obrobek bude obráběn na rozměry dané výkresovou dokumentací, viz příloha B. Na obrobek je kladen důraz na drsnost obrobených ploch $Ra = 12,5 \mu m$ kvůli kontrole vměstků ultrazvukem.

Součást bude před podélným soustružením již předhrubovaná na čele velkého průměru a budou předvrtány středící důlky pro možnost upnutí hlavní hrubovací části. Přehled odebrané vrstvy je zobrazen v příloze F. Pomocí programu Autodesk Inventor

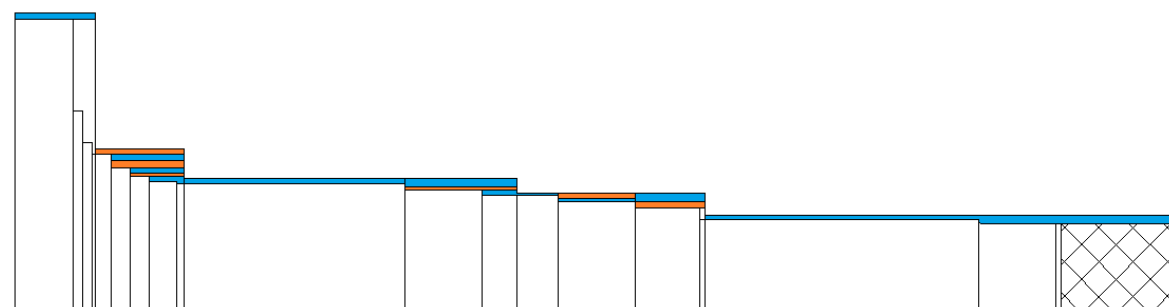
Professional 2012 se spočítalo množství odebraného materiálu podélným soustružením. Odebraný objem $V_o = 140 \text{ dm}^3$ a hmotnost odebraného materiálu $m_o = 1\,110 \text{ kg}$. Polotovarem je výkovek, který má stanoveny široké meze tolerancí, proto je nutné přistupovat ke každému obrobku individuálně. Obrobené hřídele po celkovém hrubování je na obrázku 2.9.



Obr. 2.9 Obrobené hřídele

2.3.1 Všeobecný technologický postup podélného hrubování

V této části výroby bude obrobek hrubován pouze podélným soustružením viz tabulka 2.4. Výchozím bodem pro stanovení rozměrů je v ose čela velkého průměru. Na obrázku 2.10 je znázorněn rozklad na jednotlivé dráhy nástroje při hrubování.



Obr. 2.10 Rozklad drah nástroje při hrubování

Tab. 2.4 Obecný technologický postup

Č. op.	Popis	f_n [mm]	a_p [mm]
1.	Soustružit Ø 1516	1,2	17
2.	Ø 811 – 201	1,2	12
3.	Ø 767 – 251	1,8	22
4.	Ø 737 – 251	1,2	15
5.	Ø 704 – 301	1,7	16,5
6.	Ø 692 – 301	1,2	6
7.	Ø 642 – 1219	1,7	18
8.	Ø 656 ±0,4 – 421	1,2	12
9.	Ø 667 – 351	1,2	12,5
10.	Ø 624 – 1019 ^{+1,8} _{-0,5}	1,2	9
11.	Ø 561 – 1619	1,7	22
12.	Ø 576 – 1419	1,7	15
13.	Ø 592 – 1219	1,2	7
14.	Ø 527 – 1619	1,1	17
15.	Ø 560 – 1419	1,2	8
16.	Ø 446 – 2525 ^{+1,5} _{-0,5}	1,1	22
17.	Ø 466 ±0,4 – 1786 ^{+1,8} _{-0,5}	1,0	12

Objemový součinitel

Z odebraných vzorků třísek byl stanoven objemový součinitel třísek W . Třísky byly tvaru obloukového, některé až elementární. Byl proveden výpočet několika volně ložených třísek na objem odebraného materiálu a objem volně ložených a ze vzorce 1.3 byl vypočítán objemový součinitel, výsledné hodnoty se pak zprůměrovaly.

$$V_{tl} = 0,040280 \quad V_{ml} = 0,01083$$

$$W_1 = \frac{0,04028}{0,01083} = 3,7 [-]$$

$$V_{tl} = 0,0536 \quad V_{ml} = 0,0124$$

$$W_2 = \frac{0,0536}{0,0124} = 4,3 [-]$$

$$V_{tl} = 0,00754 \quad V_{ml} = 0,00193$$

$$W_3 = \frac{0,00754}{0,00193} = 3,9 [-]$$

$$W = \frac{3,7 + 4,3 + 3,9}{3} = 3,966 \cong 4$$

Objemový součinitel je nízký a třísky jsou skladné. Je zřejmé, že se tříska láme dobře a nezatěžuje se nástroj velkým třením.

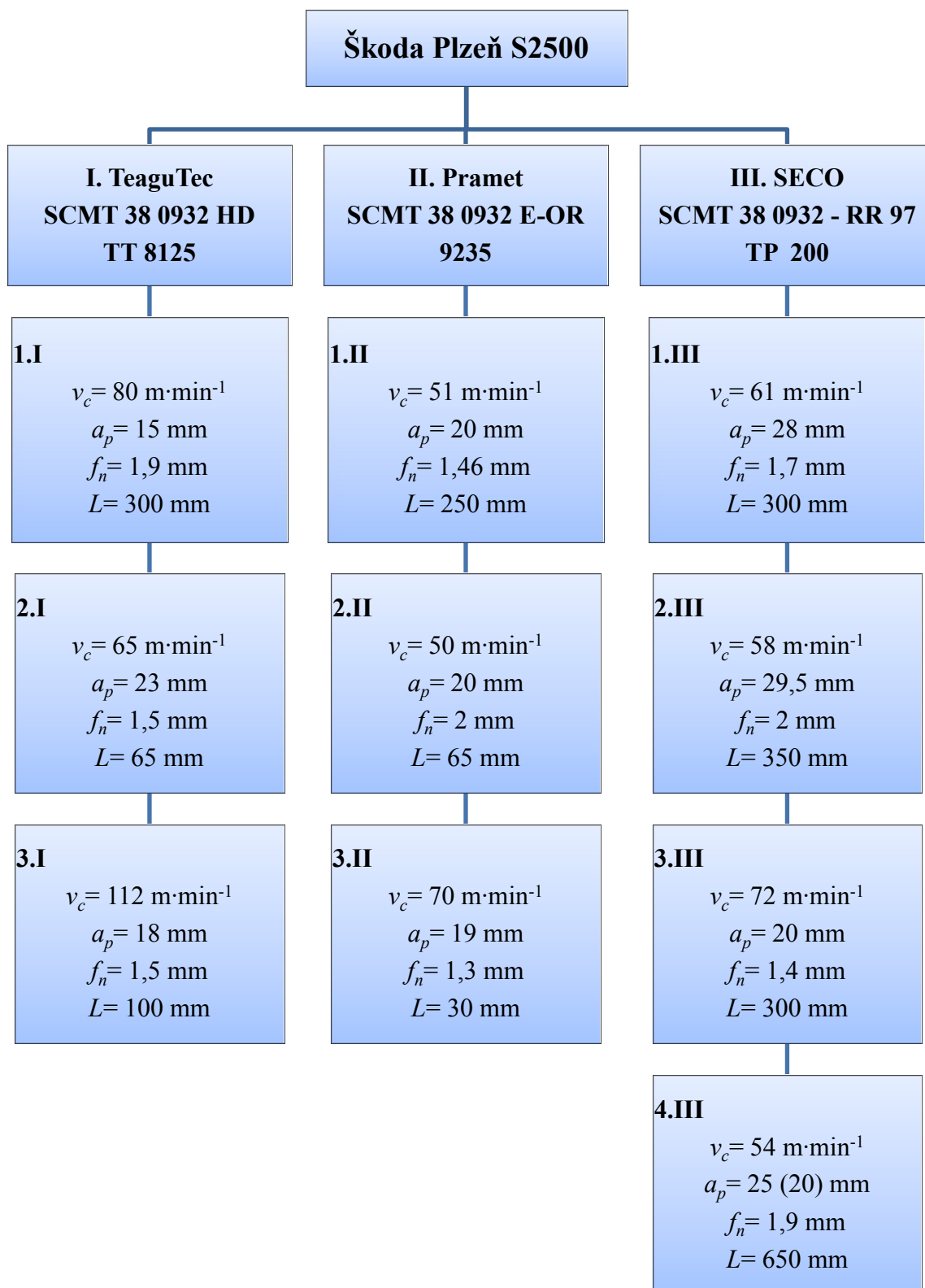
3 NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍ ČINNOSTI

Cílem experimentální činnosti bylo porovnat VBD od tří výrobců na zadaném stroji, viz kapitola 2.2. Byly kladeny požadavky na povrch, který by neměl být větší než $Ra \leq 12 \mu\text{m}$ a na opotřebení nástroje, kde je doporučená podmínka $VB_{KRIT} = 0,5 \text{ mm}$. Na základě zkušeností a vizuální kontrolou byl zhodnocen stav opotřebení VBD. Byly vyzorovány základní příznaky varujících před blížící se porušení řezné hrany – barva třísky, tvar třísky, vznik ostřin, zvyšující se příkon stroje charakterizovaného těžkopádným zvukem motoru. Pro rozpoznání předepsané drsnosti jsem použil etalon drsnosti pro soustružení s drsností $Ra = 12 \mu\text{m}$, viz obrázek 3.1.



Obr. 3.1 Etalon drsnosti soustružení $Ra 12 \mu\text{m}$

VBD byly namáhány různými řeznými podmínkami. Nejprve se zadaly doporučené řezné podmínky od výrobců VBD, poté se změnila řezné podmínky pro využití velké řezné síly stroje (kterou stroj disponuje) a na konec se experimentálně navýšila řezná rychlost v_c . V trvanlivosti bříty sehrála důležitou roli kůra obrobku, neboli vrstva okují na povrchu obrobku po kování. Podmínky, za kterých byly jednotlivé experimenty uvedeny, jsou popsány na schématu, viz Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Schéma experimentu

Pomocí vzorce 3.1 byl vypočítán objem do konce životnosti jedné řezné hrany (vypočítané hodnoty jsou dále uvedeny v tabulce 3.1).

$$V_{ON} = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot L \cdot 10^{-6} \quad (3.1)$$

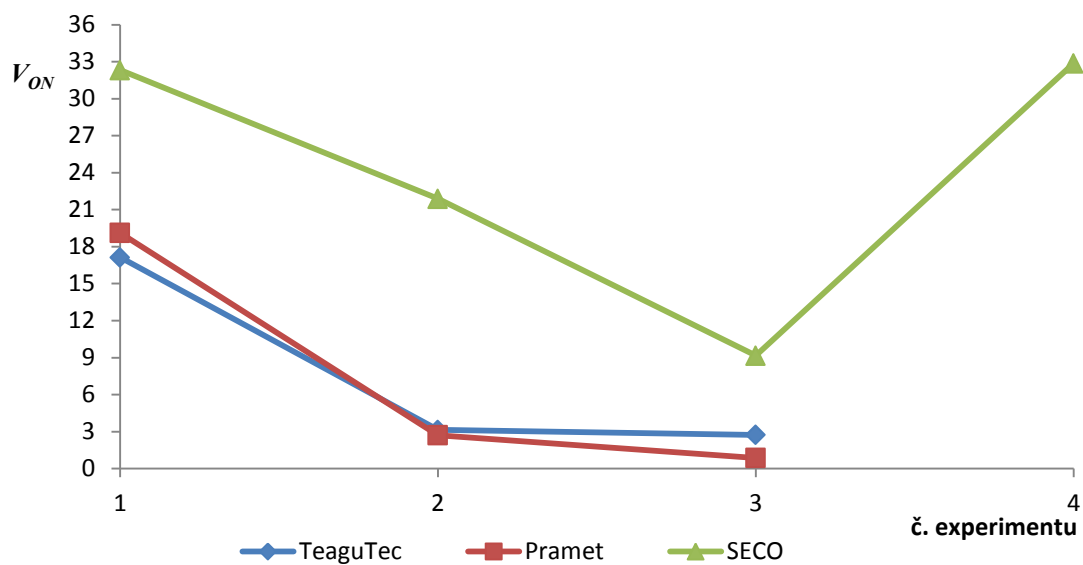
Kde: V_{ON} – objem materiálu odebraný jednou řeznou hranou [dm³]
 D – průměr obráběné plochy obrobku [mm]
 d – průměr obrobené plochy obrobku [mm]
 L – délka obrobené plochy [mm]

Tab. 3.1 Řezná rychlost a parametry pro výpočet objemu

	D [mm]	d [mm]	L [mm]	v_c [mm·min ⁻¹]	V_{ON} [dm ³]
<i>TeaguTec</i>					
1.	1227	1197	300	80	17,13425
2.	691	645	65	65	3,137383
3.	502	466	100	112	2,736956
<i>Pramet</i>					
1.	1237	1197	250	51	19,11659
2.	685	645	65	50	2,715907
3.	504	466	30	70	0,868493
<i>SECO</i>					
1.	1253	1197	300	80	32,32699
2.	704	645	350	58	21,87872
3.	506	466	300	72	9,160884
4.	700	650	620	54	32,86891

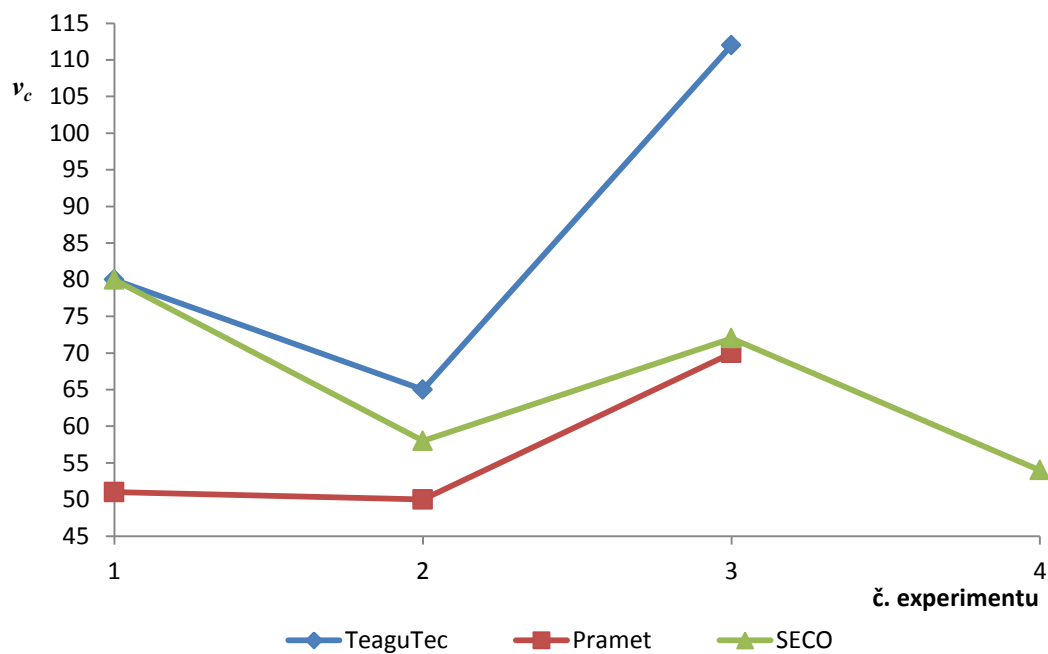
Podle těchto hodnot (Tab. 3.1), které byly získány experimentem při obrábění, byly získány grafy na obrázcích 3.3 a 3.4.

První obrázek (Obr. 3.3) srovnává jednotlivé výrobce podle objemu odebraného materiálu. Z grafu je patrné, že nejlépe vychází VBD od firmy SECO.



Obr. 3.3 Objem odebraného materiálu

Druhý obrázek (Obr. 3.4) srovnává vybrané výrobce VBD podle jejich řezné rychlosti. Z grafu je zřejmé, že nejlépe opět vychází VBD od firmy SECO.



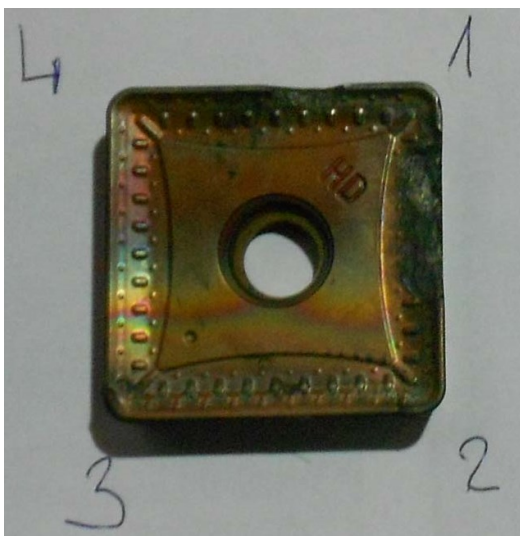
Obr. 3.4 Řezné rychlosti VBD

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4.1 Technické zhodnocení experimentu

VBD TeaguTec

Na Obr. 4.1 je VBD po všech 3 experimentech. Čtvrtého experimentu se zřekl zástupce výrobce, jež si VBD vyžádal na vlastní analýzu do laboratoře, měl obavy, že by další experiment už nevydržela. Na obrázku 4.2 povrch obrobku po obrobení touto destičkou. Pruh na obrobku značí poškození špičky destičky.



Obr. 4.1 VBD TeaguTec po experimentální činnosti



Obr. 4.2 Povrch obrobku po obrobení VBD TeaguTec

1.I – Při tomto prvním experimentu s nastavenými řeznými podmínkami dle výrobce vykazovala VBD nestabilní chování při obrábění okují i když byla v záběru s okujemi jen na délce $L = 60$ mm. Po celkové délce $L = 300$ mm v záběru byla destička otočena

na druhou řeznou hranu. V předhrubované části se již chovala stabilně. Opotřebení je znatelné na horní hraně VBD dle obr. 4.1 s označením špičky nástroje 1.

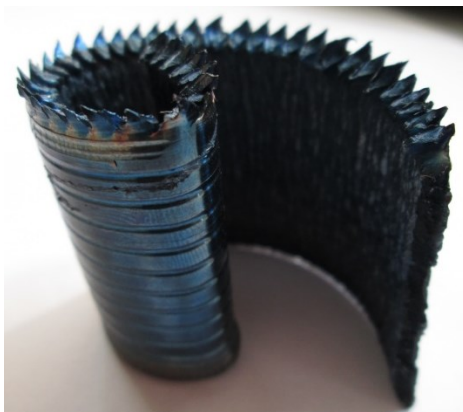
2.I – Nastavení řezných podmínek „na sílu“ evidentně této destičce nevyhovuje. Řezná hrana je po obrábění v délce $L = 65$ mm dále nepoužitelná, povlak se oloupal a poté zcela zmizel z čela řezu. Tříska se pod řezným vlivem základního materiálu trhá do dlouhých šroubovitých třísek a vzniká vysoká teplota. Zde se plně projevuje vliv kůry na povlak TT 8125, jak je vidět na pravé řezné hraně obrázku 4.1 s označením špičky nástroje 2.

3.I – V této části experimentu byla zvýšena řezná rychlost na $v_c = 112 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, avšak ihned po najetí bylo zřejmé, že ani zvýšená řezná rychlost nedokáže obrábět v kůře obrobku. Z toho důvodu je obráběna již předhrubovaná plocha jinou VBD. Vzniká však vysoká teplota, která má za následek změnu barvy povlaku a zvýšenou plastickou deformaci na špičce nástroje, viz obrázek 4.1 špička s označením 3. Tříska se utvářela plynule, ale s horší lámavostí.

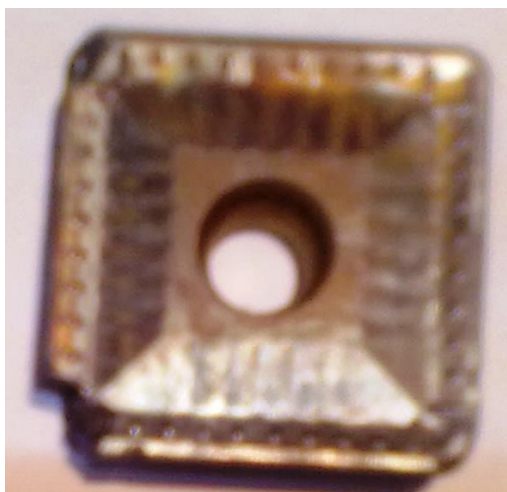
Tato výměnná břitová destička dosahovala výborné drsnosti povrchu, jež byla nižší než požadovaná drsnost. Vzhledem k tomu, že se jedná o hrubování, není toto podstatné. Pro sériovou výrobu bych tuto VBD nevolil, protože nesplňuje požadavky na komplexní hrubovací operace.

VBD PRAMET

1.II – Základní nastavení řezných podmínek podle výrobce. Obráběno na délce $L = 250$ mm, polovina této délky byla obráběna v kůře, druhá půlka v čistém materiálu. Řez byl plynulý, tříska se lámala dobře a utvařeč tvaru OR láme třísku dostatečně, viz obrázek 4.3 Tříska Pramet. Z vizuálního sledování, lze pozorovat změnu barvy VBD, což způsobila vysoká teplota s mírnou plastickou deformací špičky nástroje, viz obrázek 4.4 – levá horní špička.



Obr. 4.3 Tříska z obrábění VBD Pramet



Obr. 4.4 Pramet VBD po 2 experimentech

2.II – Experiment se zvýšenými silovými parametry stroje. Tříška ze začátku kopíruje tvar utvařeče avšak vlivem velkých sil dochází k odlomení špičky nástroje na vzdálenosti $L = 65$ mm. Z toho plyne, že substrát VBD není odolný na velké silové účinky při obrábění, i když povlak na čele a hřbetu nejeví známky nadměrného opotřebení jak u předchozí VBD.

3.II – Třetí experiment této VBD byl rychlý, po obrábění na délce $L = 30$ mm za výše uvedených podmínek ve schématu došlo k destrukci části VBD, viz obrázek 4.5 - Ulomená část VBD Pramet. Z tohoto plyne, že stejně jako v experimentu 2.II se tato VBD potýká s nedostatkem houževnatosti základního materiálu.



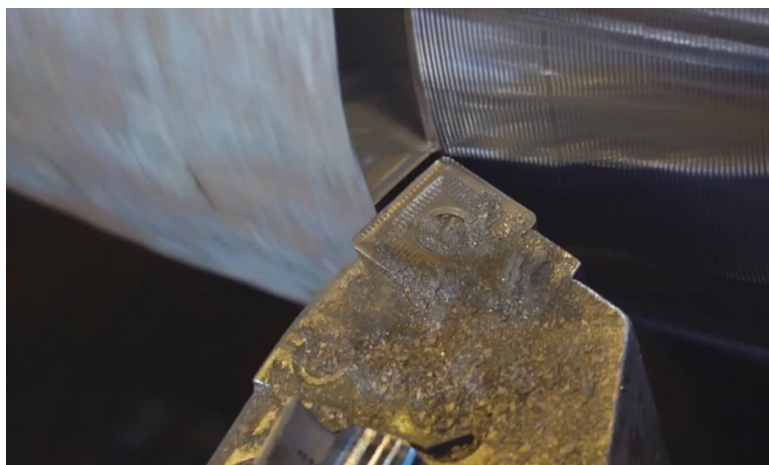
Obr. 4.5 Ulomená část VBD PRAMET

Další experiment už není nutný, při obrábění čtvrtou řeznou hranou by hrozila úplná destrukce VBD a možné poškození kazety a nástrojového držáku. Z výše uvedených

experimentů jsem došel k závěru, že tato VBD se i přes své dobré vlastnosti povlaku a utvařeče potýká s příliš velkou tvrdostí základního materiálu a v takto těžkém hrubování kovaného materiálu EN 42CrMO4 nemá uplatnění.

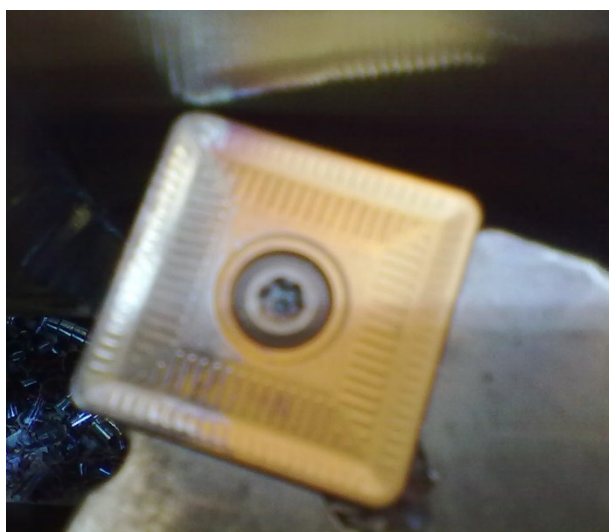
VBD SECO

1.III – Při prvním experimentu s řeznými podmínkami od výrobce vykazovala vysoký výkon při obrábění a to i přestože obráběla kůru i čistý povrch. Délka experimentu byla $L = 300$ mm, z toho $L = 150$ mm bylo obráběno v kůře. Třísky se lámala pravidelně, kopírovala utvařeč a vytvářela pravidelné volné obloukové třísky, viz Obr. 4.6.



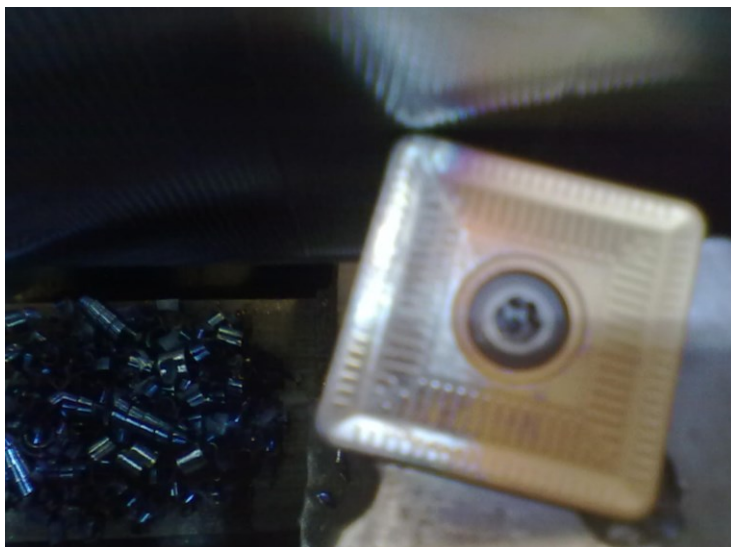
Obr. 4.6 VBD po obrábění doporučenými parametry

2.III – Při obrábění za zvýšené řezné síly se VBD chovala podobně jako u prvního experimentu (Obr. 4.7). V experimentu nebylo nutno dále pokračovat, jelikož ostatní destičky při stejném odebrání množství materiálu dosáhly konce životnosti řezné hrany. Třísky byla hrubší a lámala se lépe. Při vyšším zatížení by však hrozila destrukce VBD.



Obr. 4.7 VBD SECO po druhém experimentu

3.III – Při zvýšené řezné rychlosti sice docházelo k velkému úběru materiálu, jak je patrné z grafu na obrázku 3.3, avšak docházelo k špatnému lámání třísky. Nedeformovala se v utvařeči, ale až za ním. Dlouhé třísky způsobovaly příliš velké tepelné namáhání, jak je patrné na obrázku 4.8. Tyto parametry bych proto nevolil pro sériovou výrobu.



Obr. 4.8 Obrábění VBD za zvýšené v_c

Z obrázku je také zřejmé, že se na řezné hraně tvoří tzv. „šedá zóna“, která má za následek jemné vylamování povlaku.

Z grafů uvedených v kapitole 3 a z výše provedených experimentů vyplývá, že nejlepších výsledků dosáhla VBD firmy SECO Tools, s.r.o. Dokázala odebrat největší množství materiálu za příznivých podmínek. Proto byly navrženy v experimentu 3.IV mnou stanovené řezné podmínky.

3.IV – Z hodnot z provedených experimentů byly stanoveny řezné podmínky, které byly vyzkoušeny na trvanlivost jedné řezné hrany. Cílem bylo dosáhnout vysoké trvanlivosti nástroje a využít její vysoké produktivity. Z těchto řezných podmínek byl stanoven potřebný počet kusů VBD na hrubování hlavní hřídele větrné elektrárny podélným soustružením.

4.2 Náklady na hrubování

Pro stanovení nákladů na hrubování jednoho obrobku je potřeba znát tyto parametry: počet kusů a cena VBD, strojní čas a hodinová sazba stroje.

Z objemu obrobku V_o , který se má odebrat a objemu, který je schopen odebrat jedna řezná hrana VBD SECO, byl vypočítán počet VBD na jednu součástku.

Objem $V_o = 140 \text{ dm}^3$ byl spočítán pomocí programu Autodesk Inventor Profesional 2012. Objem při testu 3.IV je roven hodnotě $V_{ON} = 32,869 \text{ dm}^3$.

Počet kusů VBD byl vypočítán podle rovnice 4.1. Z toho vyplývá, že pro hrubování jedné hřídele je potřeba mít 2ks VBD.

$$\text{počet řezných hran} = \frac{V_o}{V_{ON}} \quad (4.1)$$

$$\text{počet řezných hran} = \frac{140}{32,869} = 4,26 \Rightarrow \mathbf{2 \text{ ks VBD}}$$

Výpočet strojního času pro soustružení je vypočítán podle vzorce 4.2 a 4.3. Kde vzorec 4.2 je použit při otáčkách větších jak nula. Do tohoto vzorce byly dosazeny hodnoty z přílohy G.

$$t_m = \frac{(l + l_n + l_p) \cdot i}{f \cdot n} \quad (4.2)$$

$$t_m = \frac{l \cdot i}{f} \quad (4.3)$$

Součet strojních časů je roven $t_m = 2,51 \text{ hod}$. Hodinová sazba stroje byla stanovena na $1300 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$.

Pomocí součtu strojních časů a hodinové sazby byly stanoveny náklady stroje na jeden obrobek při hrubování, a to na **3263Kč**. Cena VBD SECO byla stanovena na 2220Kč, z toho vyplývá, že náklady na jeden obrobek při použití dvou kusů VBD činí **4440Kč**. Součtem nákladů na nástroj a provoz stroje poté činí **7703Kč**.

5 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

V bakalářské práci byla řešena problematika hrubování hlavních hřídelů větrných elektráren na soustruhu ve společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s. Cílem bylo navrhnout vhodnou technologii soustružení hrubováním a vybrat možnou VBD s vysokým výkonem obrábění.

Nejdříve byly popsány základy teorie obrábění a to především obrobek a tvorba třísky. Bylo zapotřebí vyřešit teoreticky technologii soustružení a seznámit se s problematikou hrubování.

V praktické části návrhu technologie byla popsána výrobní soustava SNOP. Byl zde použit stroj ŠKODA PLZEŇ S2500, nástrojový držák DKR 60 60 V s kazetou KS 139 a čtvercová výměnná břitová destička řady ISO 1832 SCMT 38 0932. Pro srovnání produktivity byly společností vybrány tři VBD od různých výrobců – TeaguTec s.r.o., Pramet Tools s.r.o. a SECO Tools s.r.o.

Cílem experimentální práce bylo sledovat chování tří VBD za různých podmínek při hrubování a vybrat nejvhodnější VBD pro sériovou výrobu. V první části experimentu byly zadány řezné podmínky doporučené od výrobců VBD. Pak se změnilo pro využití velké řezné síly stroje a nakonec byla podstatně navýšena řezná rychlost. Z tohoto experimentu vyplynulo, že VBD značky TeaguTec s utvařečem třísky HD a povlakem TT 8125 nevyhovoval v podmínkách obrábění v kůře – povlak se oloupal, a tím byl zničen utvařeč. U VBD Pramet s utvařečem OR a povlakem 9235 byla nedostatečná houževnatost základního materiálu nástrojové destičky. Docházelo zde k ulamování špiček nástroje a u jedné ze zkoušek došlo k ulomení celé přední řezné části. Proto tento nástroj není vhodný pro obrábění tohoto obrobku. Nejlépe z tohoto pokusu dopadl nástroj od společnosti SECO Tools s.r.o. s utvařečem RR 97 a povlakem TP 200. Chování této destičky v řezu bylo pravidelné. Choval se podstatným rozdílem od ostatních výrobců při obrábění v kůře. Nejevil velké známky plastické deformace na špičce, a tím dosahoval vysoké produktivity.

Produktivita VBD SECO byla od ostatních výrobců výrazná. Proto byly vypočítány náklady pro tuto destičku. Náklady stroje na jeden obrobek při hrubování činí 3263Kč a náklady na jeden obrobek při použití dvou kusů VBD 4440Kč. Celkové náklady na nástroj a provoz stroje poté činí **7703Kč**.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [3] *VítkoviceHeavyMachinery a.s.* [online]. 2009 [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <http://www.vitkovicemachinery.com/>
- [4] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 55 s. ISBN 80-010-2610-8.
- [5] DRIML, Bohuslav. Teorie obrábění. In: [online]. Brno: SPŠ Strojnická a VOŠ Technická, 2004 [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep19.pdf>
- [6] STEPHENSON, David A. a John S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Marcel Dekker, 1997, 898 s. ISBN 08-247-9579-2.
- [7] ČEP, Robert. Technologie II: přednáška č. 4. In: *Přednášky z předmětu Technologie obrábění* [online]. 2005 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II
- [8] DRIML, Bohuslav. Soustružení. In: [online]. Brno: SPŠ Strojnická a VOŠ Technická, 2004 [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep17.pdf>
- [9] ČEP, Robert. Technologie II: přednáška č. 6. In: *Přednášky z předmětu Technologie obrábění* [online]. 2005 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II
- [10] Hrubovací soustružení nástroji s VBD. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2001, č. 6 [cit. 2013-04-02]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/hrubovaci-soustruzeni-nastroji-s-vbd.html>
- [11] Oceli k zušlechťování – Část 3: technické dodací podmínky pro legované oceli. In: *ČSN EN 10083-3* [online]. 2011 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: http://www.eng-ova.cz/_files/eng-ova-1c32dd710f234278bfb8763bd81b059a/csnen100833.pdf
- [12] Bolzano. *Přehled vlastností oceli 42CrMo4* [online]. 2004 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_42CrMo4/
- [13] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů: 1. část*. 2. Vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008, 148 s. ISBN 978-80-248-1053-9.

- [14] PROCES OBRÁBĚNÍ KOVU – VLIV GEOMETRIE. In: *PŘÍRUČKA PRO TECHNOLOGY* [online]. 2012 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/8/Seco_09.pdf
- [15] The next generation CVD coated grade TT8125 for steels. In: *NEW PRODUCT ANNOUNCEMENT* [online]. 2009 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.winter-servis.cz/Download/TT/TNPA/NPA105.pdf>
- [16] POVLAKOVANÉ MATERIÁLY PRO SOUSTRUŽENÍ - ŘADA 9000. In: *M&V* [online]. 2012 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://katalog.mav.cz/data/pramet2/files/materialy_vbd_soustruzeni.pdf
- [17] SOUSTRUŽENÍ – TEŽKÉ HRUBOVÁNÍ. In: *Pramet* [online]. 2008 [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.bemet.cz/galerie/file/Katalogy/Pramet/Roughing%20CZEN%20scr.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výkres NS 340 – KHL – T1

Příloha B: Výkres NS 370 – HS – S1

Příloha C: Ingot

Příloha D: Obrobená součást hrubováním

Příloha E: Hřídel obrobená načisto

Příloha F: Průřez přídavkem na hrubování

Příloha G: Tabulka pro výpočet strojních časů